

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Návrh vnějšího systému ochrany před bleskem**

Bakalářská práce

**2020/2021**

**Kristýna Míčková**

## **Návrh vnějšího systému ochrany před bleskem**

Design of external lightning protection system

**Kristýna Míčková**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Mlčák, Ph.D.

Ostrava, 2020/2021

## **Abstrakt**

Úkolem této práce je provést návrh vnějšího LPS (lightning protection system) vybrané budovy a popsat celkovou problematiku procesu návrhu vnějšího LPS. Budu vycházet ze současně platného souboru norem ČSN EN 62305 edice 2. Nejdříve provedu analýzu rizika ručním výpočtem, poté s pomocí programu DEHNsupport. Poté navrhnu jímací soustavu, počet svodů hromosvodu a zemniče.

## **Klíčová slova**

LPS, vnější ochrana, hromosvod, blesk

## **Abstract**

The reason behind this work is to make a project of external LPS (lightning protection system) for a specific building of my choosing and write about the whole process behind the making of this project. I will use the valid standards ČSN EN 62305 ed. 2. Firstly, I will analyze the risks by hand, then with the help of a program called DEHNsupport. Then I will design the collection system, the number of leads and grounding.

## **Key words**

LPS, external protection, lightning conductor, lightning

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala Ing. Tomáši Mlčákovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

# Obsah

Úvod.....	- 14 -
1 Teoretické principy .....	- 15 -
1.1 Blesk.....	- 15 -
1.1.1 Vznik blesku a jeho druhy .....	- 15 -
1.1.2 Bleskové proudy.....	- 17 -
1.2 Soubor norem ČSN EN 62305 .....	- 18 -
1.2.1 Historie [6] .....	- 18 -
1.2.2 Obsah.....	- 18 -
1.2.3 Část 1: Obecné principy [1].....	- 18 -
1.2.4 Část 2: Řízení rizika [2].....	- 18 -
1.2.5 Část 3: Hmotné škody na stavbách a nebezpečí života [3].....	- 18 -
1.2.6 Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách [4] .....	- 18 -
1.3 Obecné principy dle ČSN EN 62305-1 ed. 2 .....	- 19 -
1.3.1 Důležité pojmy .....	- 19 -
1.3.2 Účinky blesku na stavbu.....	- 19 -
1.3.3 Příčiny a typy poškození staveb .....	- 20 -
1.3.4 Typy škod a ztrát, způsobených bleskem .....	- 21 -
1.3.5 LPL, LPZ.....	- 22 -
1.4 Řízení rizika dle ČSN EN 62305-2 ed. 2: .....	- 24 -
1.5 Základní součásti vnější ochrany .....	- 25 -
1.5.1 Jímací zařízení .....	- 25 -
1.5.2 Svody.....	- 26 -
1.5.3 Uzemnění.....	- 26 -
1.5.4 Zkušební svorka: .....	- 27 -
2 Analýza rizika .....	- 28 -
2.1 Specifikace zvoleného chráněného objektu .....	- 28 -
2.2 Analýza rizika dle normy ČSN EN 62305-2 ed. 2 .....	- 29 -
2.3 Číselná analýza rizika.....	- 36 -
2.4 Analýza rizika s pomocí programu DEHNsupport .....	- 39 -
3 Návrh vnější ochrany .....	- 43 -

3.1	Jímací soustava a svody .....	- 43 -
3.2	Návrh s využitím metody valící se koule .....	- 44 -
3.3	Návrh s využitím metody ochranného úhlu .....	- 45 -
3.4	Uzemnění .....	- 48 -
4	Ověření návrhu v programu DEHNsupport .....	- 49 -
4.1	Návrh vnější ochrany .....	- 49 -
4.2	Výpočet dostatečných vzdáleností .....	- 51 -
5	Projektová dokumentace .....	- 54 -
	Závěr .....	- 55 -
	Použitá literatura .....	- 56 -
	Seznam příloh.....	- 57 -
	A. Příloha 1: .....	- 57 -
	B. Příloha 2:.....	- 57 -
	C. Příloha 3:.....	- 57 -
	D. Příloha 4: .....	- 57 -

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Význam symbolu
$A_d$	Sběrná oblast pro údery do izolované stavby
$A_i$	Sběrná oblast pro údery v blízkosti inženýrské sítě
$A_I$	Sběrná oblast pro údery do inženýrské sítě
$c_d$	Činitel polohy
$c_t$	Korekční činitel pro transformátor na přípojce
$h_z$	Činitel zvyšující ztráty v případě zvláštního nebezpečí
$h_1$	Výška jímací tyče nad střechou
$h_2$	Výška jímací tyče nad zemí
$H$	Výška stavby
$H_a$	Výška stavby připojené na konec "a" inženýrské sítě
$H_b$	Výška stavby připojené na konec "b" inženýrské sítě
$I$	Vrcholová hodnota proudu
$L$	Délka stavby
$L_A$	Ztráty související s úrazy živých bytostí
$L_B$	Ztráty ve stavbě související s hmotnou škodou (údery do stavby)
$L_C$	Ztráty související s poruchou vnitřních systémů (údery do stavby)
$L_f$	Ztráty ve stavbě způsobeny hmotnou škodou
$L_t$	Ztráty způsobené úrazy způsobenými dotykovými a krokovými napětími
$L_U$	Ztráty související s úrazy živých bytostí (údery do inženýrské sítě)
$L_V$	Ztráty ve stavbě způsobeny hmotnou škodou (údery do inženýrské sítě)
$L_X$	Následné ztráty ve stavbě
$N_D$	Počet nebezpečných událostí způsobených údery do stavby
$N_{Da}$	Počet nebezpečných událostí způsobených údery do stavby
$N_g$	Hustota úderů blesku do země
$N_X$	Počet nebezpečných událostí za rok
$N_L$	Počet nebezpečných událostí způsobených údery do inženýrské sítě
$OC$	Poloměr ochranného prostoru



---

$P_A$	Pravděpodobnost úrazu živých bytostí (údery do stavby)
$P_B$	Pravděpodobnost hmotné škody na stavbě (údery do stavby)
$P_C$	Pravděpodobnost poruchy vnitřních systémů (údery do stavby)
$P_{LD}$	Pravděpodobnost poruchy vnitřních systémů (údery do inženýrské sítě)
$P_{SPD}$	Pravděpodobnost poruchy vnitřních systémů nebo inženýrské sítě, jsou-li instalovány SPD
$P_U$	Pravděpodobnost úrazu živých bytostí (údery do inženýrské sítě)
$P_V$	Pravděpodobnost hmotné škody na stavbě (údery do inženýrské sítě)
$P_X$	Pravděpodobnost poškození stavby
$r_a$	Činitel snížení související s typem povrchu půdy
$r_u$	Činitel snížení související s typem povrchu podlahy
$r_p$	Činitel snižující ztráty v důsledku protipožárních opatření
$R$	Riziko
$R_A$	Součást rizika (úraz živých bytostí – údery do stavby)
$R_B$	Součást rizika (hmotná škoda na stavbě – údery do stavby)
$R_T$	Přípustné riziko
$R_U$	Součást rizika (úraz živých bytostí – údery do připojené inženýrské sítě)
$R_V$	Součást rizika (hmotná škoda na stavbě – údery do připojené inženýrské sítě)
$R_X$	Součást rizika pro stavbu
$R_1$	Riziko ztrát na lidských životech ve stavbě
$R_2$	Riziko ztráty veřejně služby ve stavbě
$R_3$	Riziko ztráty kulturního dědictví ve stavbě
$R_4$	Riziko ztráty ekonomických hodnot ve stavbě
$S$	Dostatečné vzdálenosti
$T_d$	Počet bouřkových dnů za rok
$W$	Šířka stavby

---

# Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
LEMP	Elektromagnetický impulz vyvolaný bleskem
LPL	Hladina ochrany před bleskem
LPS	Systém ochrany před bleskem
LPZ	Zóna ochrany před bleskem
SPD	Přepět'ové ochranné zařízení

## Seznam ilustrací

Číslo	Název
1.1	Záporný výboj typ mrak-země
1.2	Kladný výboj typ mrak-země
1.3	Záporný výboj typ země-mrak
1.4	Kladný výboj typ země-mrak
1.5	Průběhy sestupných bleskových proudů [1]
1.6	Průběhy vzestupných bleskových proudů [1]
1.7	Zóny LPZ v budově [5]
1.8	Rozměry budovy
2.1	Izokeraunická mapa České republiky
2.2	Volba budovy
2.3	Parametry silnoproudé sítě
2.4	Parametry telekomunikační sítě
2.5	Vlastnosti objektu
2.6	Parametry ztrát
2.7	Porovnání výsledného rizika $R_1$ s přípustným rizikem $R_T$
3.1	Rozmístění svodů a jímací soustavy
3.2	Kontrola jímací soustavy – pohled zepředu
3.3	Kontrola jímací soustavy – pohled zboku
3.4	Ochranný úhel v závislosti na třídě LPS a výšce jímače [3]
3.5	Poloměr ochranného prostoru [3]
3.6	Ochranný prostor svislé jímací tyče [3]
3.7	Ochranný prostor pro střechu
4.1	Specifikace rozměrů chráněného objektu
4.2	Návrh hromosvodu – pohled shora
4.3	Návrh hromosvodu – pohled zepředu
4.4	Návrh hromosvodu – pohled zboku
4.5	Vlevo parametry pro umístění vnitřní elektroinstalace, vpravo parametry

---

pro umístění vodivých částí vně budovy

**4.6** Dostatečné vzdálenosti pro vnitřní elektroinstalaci (cm)

**4.7** Dostatečné vzdálenosti pro vodivé objekty vně budovy (cm)

---

## Seznam tabulek

Číslo	Název
1.1	Účinky blesku na typické stavby [1]
1.2	Škody a ztráty na stavbách dle místa úderu blesku [1]
1.3	Maximální hodnoty parametrů blesku v závislosti na LPL [1]
1.4	Hodnoty přípustného rizika $R_T$ [2]
1.5	Poloměr valící se koule dle třídy LPS [3]
1.6	Obvyklé vzdálenosti mezi svody [3]
1.7	Charakteristika stavby
1.8	Charakteristika silnoproudé sítě
1.9	Charakteristika telekomunikační sítě
2.1	Hodnoty činitele polohy $c_d$ [2]
2.2	Hodnoty $P_A$ dle ochranných opatření [2]
2.3	Hodnoty $L_t$ dle typu stavby [2]
2.4	Hodnoty $r_a$ a $r_u$ dle typu stavby [2]
2.5	Hodnoty $P$ v závislosti na ochranných opatřeních ke zmenšení hmotných škod [2]
2.6	Hodnoty $r_f$ dle rizika vzniku požáru [2]
2.7	Hodnoty $r_p$ dle protipožárních opatření [2]
2.8	Hodnoty $h_z$ dle druhu zvláštního rizika [2]
2.9	Hodnoty $L_f$ dle druhu stavby [2]
2.10	Hodnoty $c_t$ dle typu transformátoru [2]
2.11	Vzorce pro výpočty $A_I$ a $A_i$ [2]
2.12	Hodnoty $P_{SPD}$ jako funkce LPL, pro kterou jsou SPD navržena [2]
3.1	Hodnoty ochranných úhlů a výšek jímací tyče

## Úvod

Člověk by si mohl říct, že na ochraně před úderem blesku tolik nezáleží, neboť se to stává jen zřídka. Je pravda, že počet bouřkových dnů v České republice se pohybuje v průměru okolo 30, takže riziko úderu blesku není vysoké, avšak když už k němu dojde, škody mohou být nevyčíslitelné.

Pokud není v místě, kde blesk udeří, instalována žádná ochrana proti úderu blesku, pak je riziko vzniku požáru velmi vysoké. Blesk totiž prochází objektem, který není vodivě spojený se zemí, a to způsobuje náhlé prudké ohřátí objektu. Jestli je objekt navíc vlhký, například vlhké dřevo, pak je tu navíc nebezpečí výbuchu, neboť vlhkost se vypařuje příliš rychle.

Z těchto důvodů je potřeba nainstalovat dostatečnou ochranu proti blesku nejen tam, kde to zákon vyžaduje, ale do každého objektu, ať je riziko úderu blesku sebemenší. Dle vyhlášky 268/2009 Sb. se ochrana před úderem blesku musí instalovat tam, kde je nebezpečí ohrožení života a zdraví osob, hlavně tedy v obytných stavbách.

Cílem této práce je navrhnout vhodnou ochranu před úderem blesku pro zvolený objekt. Návrh provedu dle souboru norem ČSN EN 62305 ed. 2. Nejprve však představím tento soubor norem a obsah jeho tří prvních částí, které se zabývají obecnými principy, riziky a návrhem vnějšího LPS.

Poté provedu analýzu rizika pro danou budovu a na základě toho určím příslušnou hladinu LPL. Nejprve určím riziko ručními výpočty, poté provedu jeho analýzu ve specializovaném programu DEHNsupport. Výsledky následně porovnam.

Následně navrhnu vnější systém ochrany před bleskem dle příslušné třídy LPS, tedy typ jímací soustavy, určení počtu svodů, jejich rozmístění, materiál, ze kterého budou vyrobeny, a uzemnění. Návrh provedu opět v programu DEHNsupport. Správnost navržené soustavy poté zkontroluji pomocí metody valící se koule a metody ochranného úhlu.

# 1 Teoretické principy

## 1.1 Blesk

Ze všeho nejdříve je potřeba zjistit, před čím ochranu potřebujeme. Blesk je atmosférický jev, který vzniká při bouřce. Jedná se o elektrostatický výboj, vznikající v bouřkovém mraku.

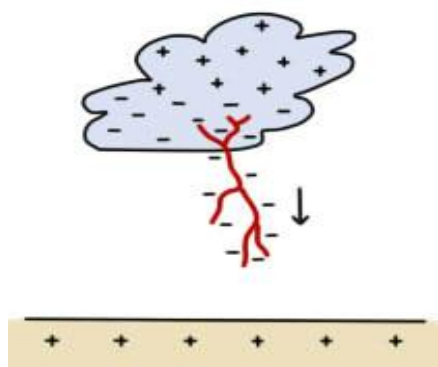
### 1.1.1 Vznik blesku a jeho druhy

Uvnitř bouřkového mraku se spolu míchají kladné a záporné náboje ve vodních kapkách. Kladně nabitě kapky stoupají v mraku vzhůru, zatímco záporně nabitě kapky klesají do spodní části mraku. Kladné a záporné náboje se mezi sebou přirozeně přitahují, takže jakmile je překročena elektrická pevnost vzduchu, vznikne vodivý kanál pro bleskový výboj. Ten se může odehrát uvnitř samotného mraku, mezi dvěma bouřkovými mraky, nebo mezi mrakem a zemí.

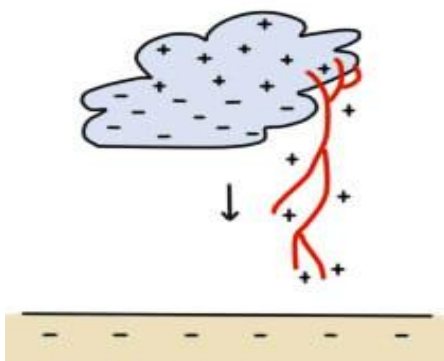
Výboje v mraku či mezi mraky nejsou pro člověka nějak nebezpečné, protože se odehrávají vysoko nad zemí. Jedná se o nejrozšířenější druhy blesků, které se odehrávají při každé bouřce.

Samotný blesk mezi mrakem a zemí je tvořen vůdčím výbojem, jedním či několika vedlejšími výboji a vstřícným výbojem ze země či objektu. Jakmile se vůdčí a vstřícný výboj spojí, vznikne vodivý tunel pro bleskový proud.

Nejčastější druh blesku, který nás zajímá, je výboj záporného náboje z mraku do země. Také se mu říká sestupný negativní výboj. Velmi nebezpečné jsou pak pozitivně nabitě blesky, sestupující z mraku do země, které jsou mnohem silnější a intenzivnější než blesky se záporným nábojem, nejsou však tak časté. Průměrný záporný blesk trvá přibližně 1/4 vteřiny, kladný blesk však může trvat až desetinásobek této doby.

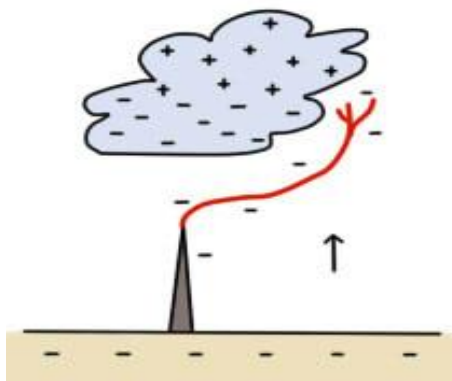


Obrázek 1.1: Záporný výboj typ mrak-země

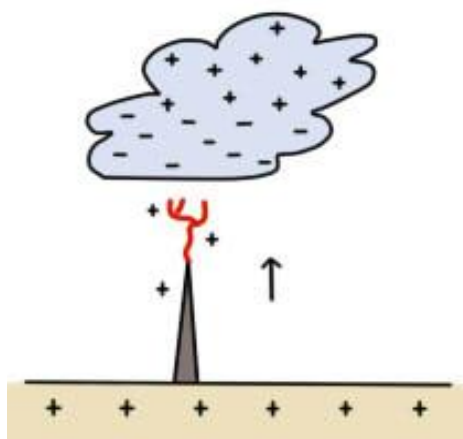


Obrázek 1.2: *Kladný výboj typ mrak-země*

U vysokých budov a objektů se vyskytují výboje ze země do mraku. Ty mohou být také záporné i kladné.



Obrázek 1.3: *Záporný výboj typ země-mrak*

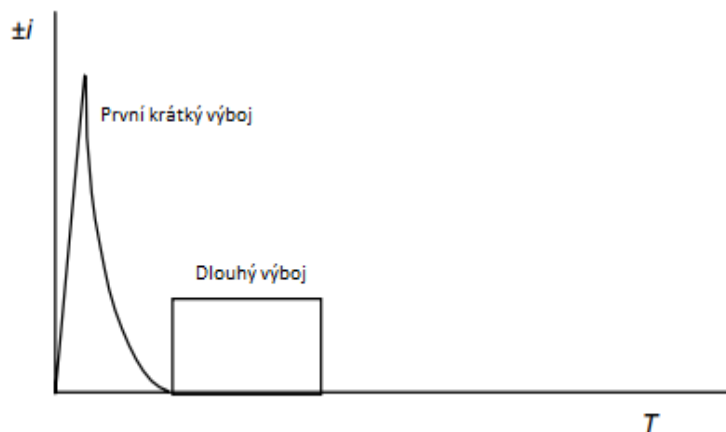


Obrázek 1.4: *Kladný výboj typ země-mrak*

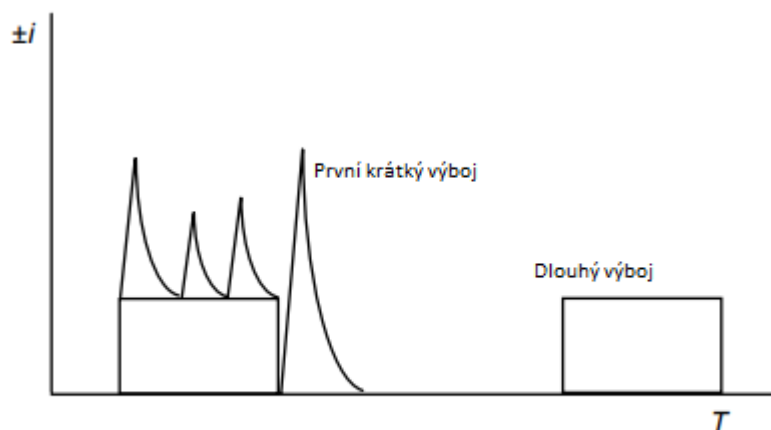


### 1.1.2 Bleskové proudy

Bleskové proudy si lze představit jako proudy s parametry těch z teoretického ideálního zdroje proudu. Jestliže proud vstoupí v jednom bodu do homogenní plochy či půdy, vznikne tzv. potenciálový trychtýř. Jestliže se uvnitř potenciálového trychtýře nachází živé organismy, může dojít k jejich úmrtí či úrazu, způsobenému krokovým napětím. Čím je vodivost plochy či půdy větší, tím víc se riziko zmenšuje.



Obrázek 1.5: *Průběhy sestupných bleskových proudů [1]*



Obrázek 1.6: *Průběhy vzestupných bleskových proudů [1]*

Jestliže udeří blesk do budovy, která je vybavena hromosvodem, dojde na zemním odporu k úbytku napětí, způsobené průchodem bleskového proudu. Aby se co nejvíce snížilo nebezpečí ohrožení osob uvnitř objektu, musí být potenciál všech vodivých částí uvnitř objektu vyrovnán na stejnou hodnotu.

## 1.2 Soubor norem ČSN EN 62305

### 1.2.1 Historie [6]

V říjnu roku 2001 byla ve Florencii zavedena nová organizační struktura norem IEC 62305 Ochrana před bleskem komisí IEC TC 81. V České republice je od 1. 11. 2006 platný soubor technických norem ČSN EN 62305 Ochrana před bleskem, který vychází ze struktury norem IEC 62305.

### 1.2.2 Obsah

Soubor norem ČSN EN 62305 se skládá ze 4 částí. Jsou to Obecné principy, Řízení rizika, Hmotné škody na stavbách a nebezpečí života, Elektrické a elektronické systémy ve stavbách.

### 1.2.3 Část 1: Obecné principy [1]

První část informuje obecně o nebezpečí blesku, jeho parametrech, různých druzích blesku, o odvozených parametrech blesku pro simulaci jeho účinků v laboratorním prostředí, a o parametrech samotných simulací účinků blesku.

### 1.2.4 Část 2: Řízení rizika [2]

Tato část mluví o stanovení odhadu rizika pro stavby a inženýrské sítě. Jako druh blesku se zde využívá mrak-zem. S pomocí této části normy se stanovují odhady rizika. Pro stavby s veřejným charakterem platí závazné hodnoty rizika, které se musí dodržovat, berou se jako zadání projektu. Pro soukromé stavby musí projektant nejdříve získat podklady a z nich určit riziko a poté navrhnout potřebná opatření.

### 1.2.5 Část 3: Hmotné škody na stavbách a nebezpečí života [3]

Třetí část tohoto souboru norem se zabývá samotným návrhem vnější ochrany před bleskem.

### 1.2.6 Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách [4]

V této části najdeme ochranná opatření, které slouží ke snížení selhání elektrických a elektronických systémů, umístěných uvnitř budovy.

### 1.3 Obecné principy dle ČSN EN 62305-1 ed. 2

Jak již název vypovídá, tato část normy řeší obecné principy ochrany před bleskem. Tato část normy platí pro stavby a inženýrské sítě, neplatí však pro železniční systémy, dopravní prostředky, podzemní vysokotlaká potrubí a potrubí, která nejsou připojena ke stavbám. [1]

#### 1.3.1 Důležité pojmy

LEMP (lightning electromagnetic impulse) – Elektromagnetický impuls vyvolaný bleskem: Elektromagnetické účinky bleskového proudu.

LPL (lightning protection level) – Hladina ochrany před bleskem: Je to číslo, které je vztažené k souboru hodnot parametrů bleskového proudu, a odpovídá pravděpodobnosti, že minimální a maximální návrhové hodnoty nebudou u blesků překročeny.

LPS (lightning protection system) – Systém ochrany před bleskem: Kompletní systém, který se používá pro snížení hmotných škod, způsobených úderem blesku.

LPZ (lightning protection zone) – Zóna ochrany před bleskem: Zóna, ve které je definováno elektromagnetické prostředí.

Riziko  $R$  (risk): Je to hodnota pravděpodobných ročních ztrát na osobách a majetku, způsobených bleskem. Vztahuje se k celkové hodnotě chráněného objektu.

Přípustné riziko  $R_T$  (tolerable risk): Maximální hodnota rizika, které je přístupné pro chráněný objekt.

#### 1.3.2 Účinky blesku na stavbu

Účinky úderu blesku na stavbu se vztahují k hlavním charakteristikám chráněné stavby:

- Konstrukce
- Účel
- Obyvatelé a obsah
- Připojené inženýrské sítě
- Existující nebo připravovaná ochranná opatření
- Míra rozšíření nebezpečí

Při úderu blesku vznikají zároveň tepelné a mechanické účinky. Nejhorší účinky nastanou, pokud je materiál vodiče při průchodu bleskového proudu explozivně roztaven. To nejen zcela zničí daný vodič, ale také způsobí škody v jeho okolí.

Tabulka 1.1: Účinky blesku na typické stavby [1]

Typ stavby z hlediska účelu/obsahu	Účinky blesku
Obytný dům	Průraz elektrických instalací, požár a materiální škoda Škoda obvykle omezena na objekty v místě úderu blesku nebo v cestě bleskového proudu Porucha elektrického a elektronického zařízení a instalovaných systémů
Zemědělská stavba	Prvotní riziko požáru a nebezpečná kroková napětí Hmotné škody Následné škody způsobené ztrátou elektrické energie, nebezpečí života pro dobytek
Divadlo, hotel, škola, obchodní dům, sportovní areál	Poškození elektrických instalací, což může způsobit paniku Porucha požární signalizace
Banka, pojišťovna, obchodní společnost apod.	Jako je uvedeno výše a problémy kvůli ztrátě komunikace, dat, poruchou počítačů
Nemocnice, sanatorium, vězení	Jako je uvedeno výše a problémy lidí s intenzivní péčí a potíže se záchranou nepohyblivých lidí
Průmysl	Přídavné účinky závisí na výrobní náplni továren
Muzeum a archeologická naleziště, kostel	Ztráta nenahraditelného kulturního dědictví
Telekomunikace, elektrárny	Nepříjemné ztráty služeb veřejnosti
Pyrotechnická továrna, muniční závody	Následky požáru a výbuchu pro podnik a okolí
Chemický podnik, rafinerie, jaderná elektrárna, biochemické laboratoře a podniky	Požár a nesprávný chod podniku se zhoubnými následky na místní a globální životní prostředí

### 1.3.3 Příčiny a typy poškození staveb

Příčinou poškození staveb typu S je proud blesku, způsobený buď přímým úderem blesku do chráněného objektu, do země v blízkosti objektu, nebo do sousedních objektů, které jsou propojeny s chráněným objektem. Podle polohy místa zachycení výboje rozlišujeme:

- S1: Údery do stavby
- S2: Údery v blízkosti stavby
- S3: Údery do inženýrských sítí, připojených ke stavbám
- S4: Údery v blízkosti inženýrských sítí, připojených ke stavbám

Nebezpečí při S1:

- Přímé mechanické poškození, požár, výbuch (způsobený vlastním plazmatem bleskového oblouku, proudem způsobujícím odporové ohřátí vodičů nebo nábojem způsobeným narušeným obloukem).

- Požár/výbuch způsobený jiskřením vodiče.
- Úraz osob krokovými a dotykovými napětími.
- Porucha/nesprávná činnost vnitřních systémů způsobená LEMP.

Nebezpečí při S2:

- Porucha/nesprávná činnost vnitřních systémů způsobená LEMP.

Nebezpečí při S3:

- Požár/výbuch způsobený jiskrami, které vznikají přepětími a bleskovými proudy přenášenými inženýrskými sítěmi.
- Úraz osob způsobený dotykovými napětími uvnitř staveb, které jsou způsobené bleskovými proudy.
- Porucha/nesprávná činnost vnitřních systémů způsobená přepětími na připojených vedeních a přenesenými do stavby.

Nebezpečí při S4:

- Porucha/nesprávná činnost vnitřních systémů způsobená přepětími indukovanými do připojeného vedení a přenesenými do stavby.

#### 1.3.4 Typy škod a ztrát, způsobených bleskem

Samotný výboj může způsobit škody, které závisí na vlastnostech objektu. Důležité vlastnosti jsou typ konstrukce, využití objektu, typ inženýrské sítě a aplikovaná ochranná opatření. Rozlišujeme tři základní typy škod, způsobené úderem blesku dle [1]:

- D1: Úraz živých bytostí, způsobený dotykovými či krokovými napětími
- D2: Hmotná škoda, způsobená účinky bleskového proudu včetně jiskření
- D3: Porucha vnitřních systémů, způsobená LEMP

Každý typ škody nebo jejich kombinace může způsobit různé ztráty v chráněném objektu. Mohou to být například elektrické šoky způsobené dotykovými a krokovými napětími, které mohou způsobit vážná zranění či ztrátu na životech u živých bytostí. Dále to mohou být hmotné škody či selhání elektrických a elektronických systémů. Uvažujeme následující typy ztrát dle citované normy [1]:

- L1: Ztráty na lidských životech
- L2: Ztráty na službách veřejnosti
- L3: Ztráty na kulturním dědictví
- L4: Ztráty ekonomické hodnoty

Na stavbách mohou nastat ztráty L1, L2, L3 a L4. Na inženýrských sítích mohou nastat ztráty L2 a L4.

Tabulka 1.2: Škody a ztráty na stavbách dle místa úderu blesku [1]

Místo úderu	Příčina poškození	Typ poškození	Typ ztráty
Stavba	S1	D1	L1, L4**
		D2	L1, L2, L3, L4
		D3	L1*, L2, L4
V blízkosti stavby	S2	D3	L1*, L2, L4
Inženýrská síť připojená ke stavbě	S3	D1	L1, L4**
		D2	L1, L2, L3, L4
		D3	L1*, L2, L4
V blízkosti inženýrské sítě, která je připojená ke stavbě	S4	D3	L1*, L2, L4
* Pro stavby s nebezpečím výbuchu, nemocnice ** Pro nemovitosti, kde mohou být ztráty na zvířatech			

### 1.3.5 LPL, LPZ

LPL je hladina ochrany před bleskem. Pro každou ze čtyř hladin LPL jsou stanoveny minimální a maximální parametry blesku. Maximální hodnoty těchto parametrů se využívají k návrhu komponentů ochrany před bleskem. Minimální parametry jsou použity k stanovení poloměru valící se koule při určování zóny LPZ  $0_B$ .

Třídy LPL dle [1]:

- LPL I
- LPL II
- LPL III
- LPL IV

Tabulka 1.3: Maximální hodnoty parametrů blesku v závislosti na LPL [1]

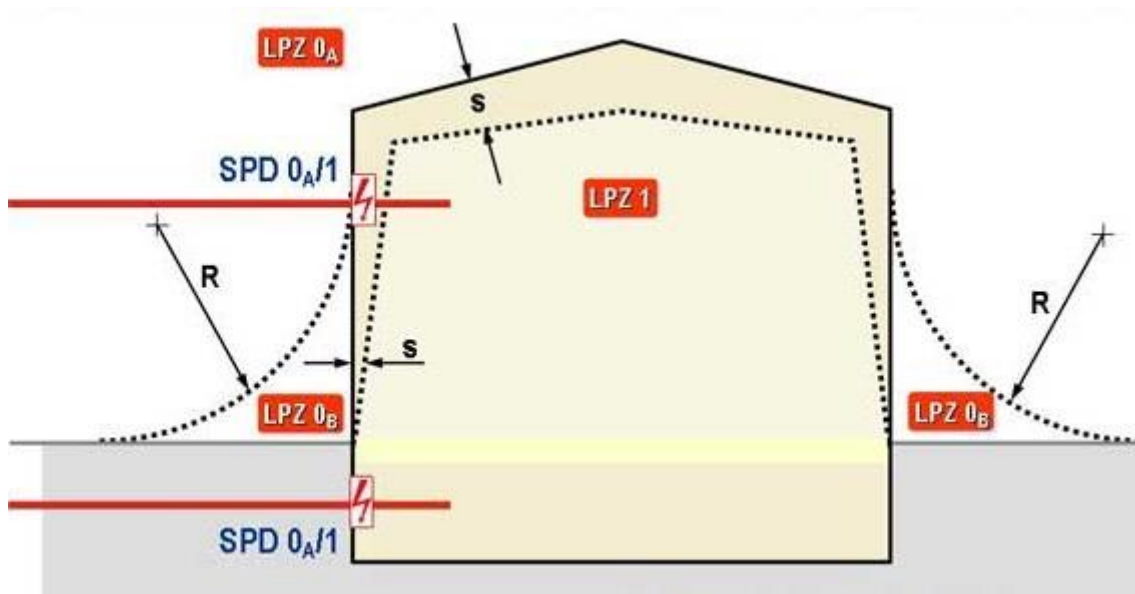
První krátký výboj			LPL			
Parametry	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Vrcholový proud	$I$	kA	200	150	100	
Náboj krátkého výboje	$Q_{\text{short}}$	C	100	75	50	
Specifická energie	$W/R$	MJ/ $\Omega$	10	5,6	2,5	
Časové parametry	$T_1/T_2$	us/us	10/350			
Následný krátký výboj			LPL			
Parametry	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Vrcholový proud	$I$	kA	50	37,5	25	
Střední strmost	$di/dt$	kA/us	200	150	100	
Časové parametry	$T_1/T_2$	us/us	0,25/100			
Dlouhý výboj			LPL			
Parametry	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Náboj dlouhého výboje	$Q_{\text{long}}$	C	200	150	100	
Časové parametry	$T_{\text{long}}$	s	0,5			
Výboj			LPL			

Parametry	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Náboj výboje	Qflash	C	300	225	150	

Zóny ochrany před bleskem LPZ:

Určují je ochranná opatření jako LPS, magnetická stínění, stínění vodiče. S ohledem na ohrožení bleskem se podle [1] definují:

- LPZ 0A: Zóna, kde je ohrožení přímým úderem blesku a plného elektromagnetickým polem blesku. Vnitřní prostory mohou být vystaveny plnému či dílčímu impulznímu bleskovému proudu.
- LPZ 0B: Zóna, která je chráněná před přímými údery blesku, ale stále zde platí hrozba plného elektromagnetického pole blesku. Vnitřní systémy mohou být vystaveny dílčímu impulznímu proudu blesku.
- LPZ 1: Zóna, kde je impulzní proud omezený rozdělením proudu. Prostorové stínění může zeslabit elektromagnetické pole blesku.
- LPZ 2, ..., n: Zóna, kde může být impulzní proud nadále omezen rozdělením proudu na rozhraní. Může být použito další stínění na zeslabení elektromagnetického pole.



Obrázek 1.7: Zóny LPZ v budově [5]

## 1.4 Řízení rizika dle ČSN EN 62305-2 ed. 2:

S pomocí této části normy [2] se určují rizika pro stavby a inženýrské sítě. Dle rizika nadále se navrhuje ochranná opatření proti úderu blesku.

Riziko: Hodnota pravděpodobných průměrných ročních ztrát. Pro každý typ ztrát ve stavbě či inženýrské síti může být určeno odpovídající riziko.

Přípustné riziko: Je to maximální hodnota rizika, která je ještě přípustná pro daný objekt. Hodnoty přípustných rizik můžeme nalézt v tabulce, která vychází z [2].

Tabulka 1.4: Hodnoty přípustného rizika  $R_T$  [2]

Hodnoty přípustného rizika $R_T$	
Typy ztrát	$R_T$
Ztráty na lidských životech či trvalé úrazy	$10^{-5}$
Ztráty veřejných služeb	$10^{-3}$
Ztráty kulturního dědictví	$10^{-3}$

Ochrana před bleskem je potřebná všude tam, kde je riziko  $R$  vyšší nežli přípustné riziko  $R_T$ . Musí být přijata taková opatření, aby riziko  $R$  kleslo pod přípustné riziko  $R_T$  anebo se mu rovnalo.

Typy rizika dle citované normy [2]:

- $R_1$ : Riziko ztrát na lidských životech
- $R_2$ : Riziko ztrát na službách veřejnosti
- $R_3$ : Riziko ztrát na kulturním dědictví
- $R_4$ : Riziko ztrát ekonomických hodnot

Každé riziko je určeno součtem součástí onoho rizika, které musí být definovány a vypočítány. Tyto dílčí rizika závisí na příčině a typu škody.

Pro výpočet rizika se využívá následující obecná rovnice podle [2]:

$$R_X = N_X \cdot L_X \cdot P_X \quad (1.1)$$

Kde

$R_X$  je počítané riziko

$N_X$  je počet nebezpečných událostí za rok

$P_X$  je pravděpodobnost poškození chráněné stavby

$L_X$  jsou následné ztráty



## 1.5 Základní součásti vnější ochrany

### 1.5.1 Jímací zařízení

Toto zařízení slouží jako ochrana objektu před přímým úderem blesku. Tvoří jej jímače a jímací vedení, které jsou tvořeny tyčemi, mřížovými vodiči, závěsnými lany či jejich kombinací. Jako jímací zařízení lze využít i kovových střech, komínů a jiných kovových předmětů, které jsou umístěny na střeše.

Pokud je střecha z nehořlavého materiálu, jímací soustava se umísťuje přímo na ni. Pokud je střecha z hořlavého materiálu, jímací soustavu umísťujeme s mezerou, která je minimálně 10 cm od povrchu střechy.

Pro návrh jímacího zařízení můžeme využít 3 metody:

- Metoda valící se koule: Jedná se o nejuniverzálnější metodu návrhu. Poloměr valící se koule se určí z tabulky, vycházející z [3]. Tento poloměr reprezentuje vstřícný výboj ze země či z jímací soustavy oproti výboji sestupujícímu z bouřkového mraku.

Tabulka 1.5: *Poloměr valící se koule dle třídy LPS [3]*

Třída LPS	Poloměr valící se koule (m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

- Metoda ochranného úhlu: Tato metoda je odvozena z metody valící se koule. Je vhodná pro jednoduché budovy. Ochranný úhel závisí na třídě použitého LPS a výšce chráněného objektu.

- Metoda mřížové soustavy: Poslední metoda může být využita nezávisle na výšce a komplikovanosti budovy, nejvíce se však používá pro objekty s rovnou střechou. Jímací soustava je umístěna na vnějších hranách chráněného objektu.

Dle způsobu konstrukce jímací soustavy je můžeme dělit na:

- Hřebenová soustava: Vede se po hřebenech sedlových střech s převýšením více než 1 m, jímací tyče přecházejí chráněný objekt alespoň o 30 cm.

- Mřížová soustava: Využívá se u rovných či pultových střech a tvoří oka, jejichž rozměry jsou určeny dle hladiny LPL.

- Tyčový hromosvod: Tvoří jej jímací tyče. Je umístěn na jehlanových střechách a vysokých úzkých objektech.

- Závěsný hromosvod: Používá se u dlouhých objektů. Tvoří jej lano, které je zavěšeno nad chráněným objektem na stožárech.

- Stožárový hromosvod: Tvoří jej uzemněný stožár, umístěný mimo chráněný objekt.
- Klecový hromosvod: Je tvořen klecí, která má oka maximálně 20x20 m. Klec obklopuje chráněný objekt, ale nedotýká se ho.
- Náhodný jímač: Za náhodný jímač se považují kovové části stavby, jako kovové části střešní konstrukce, oplechování budovy (jestliže je zajištěno trvalé elektrické propojení mezi díly), kovové potrubí, nádrže.

### 1.5.2 Svody

Svody propojují jímací zařízení s uzemněním. Jejich úkolem je tedy svést blesk tou nejkratší možnou cestou do země, pokud možno tak, aby nedošlo k nebezpečným přeskokům proudu do kovových předmětů v objektu. Svody mohou být skryté a venkovní, většinou se však používají svody vnější. Jako vnější svody se mohou využít i kovové předměty na budově, např. okapy.

Počet svodů se odvodí dle třídy použitého LPS na chráněné budově. Pokud počítáme s neoddáleným hromosvodem, musí být počet svodů minimálně dva. Rozmísťují se po obvodu objektu v intervalech, určených dle třídy LPS. Rozmístění by mělo být pravidelné, umístěny musí být přímo a svisle jako přímé pokračování jímací soustavy.

Tabulka 1.6: Obvyklé vzdálenosti mezi svody [3]

Třída LPS	Obvyklé vzdálenosti mezi svody (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

### 1.5.3 Uzemnění

Toto zařízení umožňuje přechod blesku do země. Zemnič může být strojený a náhodný. Strojený zemnič je zařízení zkonstruované speciálně pro uzemnění. Náhodný zemnič je vodivý předmět, který je uložený trvale v zemi, ale byl vybudován za jiným účelem než uzemnění, je však použitý jako zemnič. Zemní odpor zemniče musí být co nejnižší, většinou do 10  $\Omega$ . Zemniče musí být uloženy tak, aby bylo možno provést jejich revizi během montáže.

Uzemnění se dělí na dva typy dle [3]:

- Uspořádání typu A: Tvoří jej vodorovný, svislý či nakloněný zemnič, instalovaný vně chráněného objektu. Každý svod je spojen se zemničem. Minimální počet zemničů v tomto uspořádání je dva. Horní konec zemniče musí být minimálně 50 cm pod povrchem země.
- Uspořádání typu B: Je tvořen obvodovým zemničem vně chráněného objektu, který je umístěn minimálně 0,5 m pod povrchem země a 1 metr od stěn chráněného objektu. Může jej také tvořit základový zemnič, umístěný přímo do betonového základu stavby.

- Vedení od zkušební svorky k zemniči musí být bez spojů. Spoje mezi tímto vedením a zemniči je vyrobeno z nekorodujících materiálů. Zemnič se umísťuje v takové hloubce, aby se co nejvíce omezily účinky koroze a zamrzání půdy.

#### 1.5.4 **Zkušební svorka:**

Svorka, která slouží ke spojení nadzemní části hromosvodu s uzemněním. Umožňuje měření zemního odporu uzemňovací soustavy. Každý svod by měl být spojen s uzemněním zkušební svorkou. Jelikož je svorka umístěna venku, musí být vyrobena z odolných materiálů, aby brzy nezkorodovala. Její doporučené umístění je 1,8 - 2 m od země. [6] Svorku musí být možno rozpojit s pomocí nářadí.

## 2 Analýza rizika

### 2.1 Specifikace zvoleného chráněného objektu

Objekt je čtyřpatrový činžovní dům, který se nachází v městském sídlišti. S vnitřním prostorem budovy počítám jako s jednou zónou LPZ 1. S vnějším prostorem kolem budovy nepočítám.

Tabulka 1.7: Charakteristika stavby

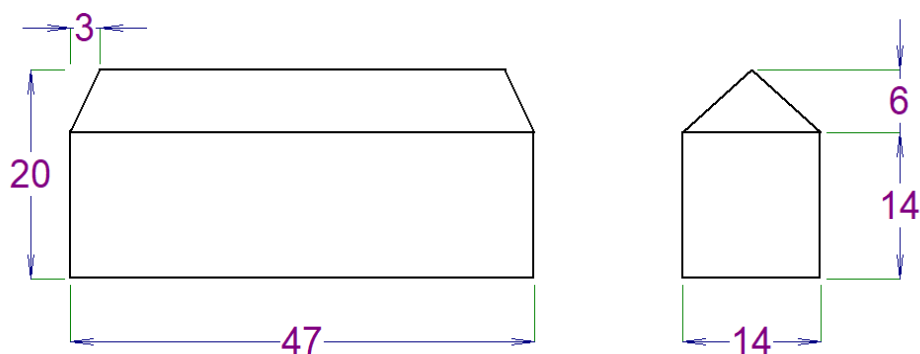
Charakteristika stavby:	
Rozměry	délka 47 m, šířka 14 m, výška 20 m
Okolí	kolem objektu se nachází budovy a stromy vyšší či stejné výšky
LPS	LPS III
Stínění na hranici stavby	Bez stínění
Stínění uvnitř stavby	žádné
Přítomnost lidí mimo dům	obtížné určit
Počet bouřkových dnů	30 za rok
Podlahy	Betonová konstrukce, v jednotlivých bytech dřevo či linoleum
Riziko požáru	malé
Protipožární opatření	hasicí přístroje na chodbách v mezipatrech

Tabulka 1.8: Charakteristika silnoproudé sítě

Charakteristika silnoproudé sítě:	
Délka vedení	1000 m doporučená hodnota dle ČSN EN 62305-2
Výška vedení	1,5 m pod povrchem
Transformátor	není
Činitel polohy vedení	Osamocené pod zemí na rovném terénu
Stínění vedení	Bez stínění
Koordinovaná ochrana SPD	Bez SPD

Tabulka 1.9: Charakteristika telekomunikační sítě

Charakteristika telekomunikační sítě:	
Délka vedení	1000 m doporučená hodnota dle ČSN EN 62305-2
Typ vedení	Kabelové pod zemí
Činitel polohy vedení	Osamocené pod zemí na rovném terénu
Stínění vedení	Bez stínění
Koordinovaná ochrana SPD	Bez SPD



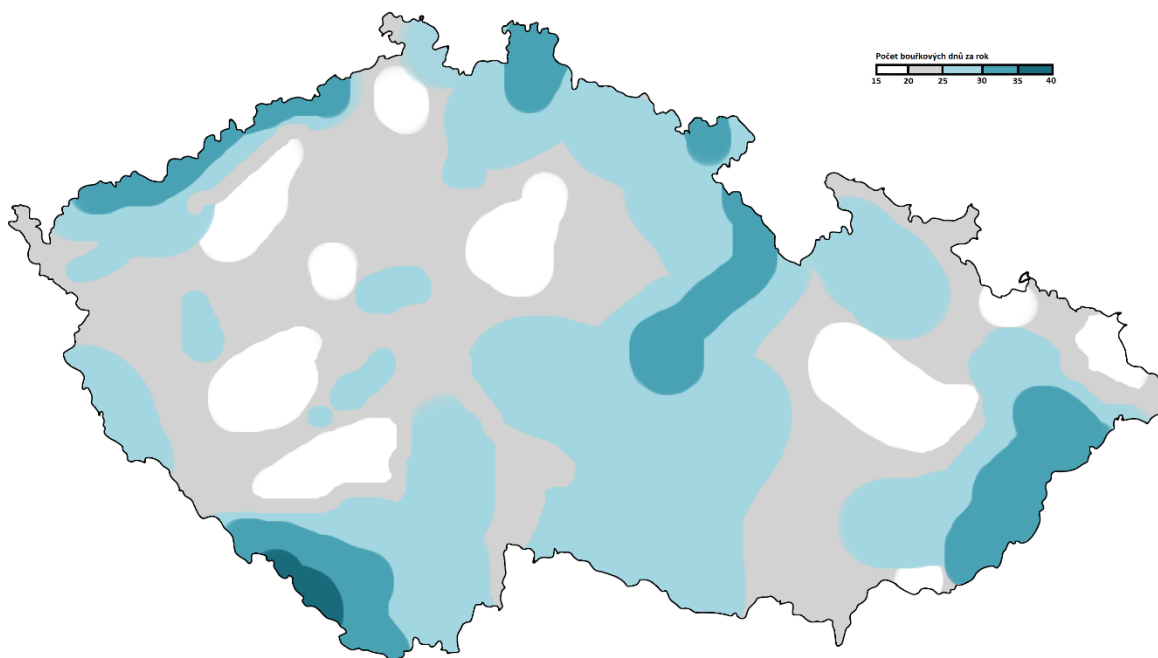
Obrázek 1.8: Rozměry budovy

## 2.2 Analýza rizika dle normy ČSN EN 62305-2 ed. 2

Hustota úderů blesků do země  $N_g$ :

$$N_g \approx 0,1 T_d \quad (2.1)$$

$T_d$  je počet bouřkových dnů za rok, určí se dle izokeraunické mapy České republiky



Obrázek 2.1: Izokeraunická mapa České republiky

Určení sběrné plochy  $A_d$ :

$$A_d = L \cdot W + 6 \cdot H \cdot (L + W) + 9 \cdot \pi \cdot H^2 \quad (2.2)$$

kde  $W$ ,  $L$  a  $H$  jsou šířka, délka a výška budovy v metrech

Vzájemná poloha stavby:

Uvažuje se zavedením činitele polohy  $C_d$ .

Tabulka 2.1: *Hodnoty činitele polohy  $C_d$  [2]*

Vzájemná poloha	$C_d$
Objekt obklopen vyššími objekty či stromy	0,25
Objekt obklopen objekty nebo stromy stejné výšky či nižšími	0,5
Osamocený objekt	1
Osamocený objekt na vrcholu kopce či pahorku	2

Počet nebezpečných událostí  $N_D$  pro stavbu:

$$N_D = N_g \cdot A_d \cdot C_d \cdot 10^{-6} \quad (2.3)$$

kde

$N_g$  je hustota úderů blesků do země

$A_d$  je sběrná oblast osamocené stavby

$C_d$  je činitel polohy stavby

Pravděpodobnost, že úder do stavby způsobí úraz živých bytostí  $P_A$ :

Hodnoty pravděpodobnosti úrazu živých bytostí krokovým a dotykovým napětím závisí na typických ochranných opatřeních.

Tabulka 2.2: *Hodnoty  $P_A$  dle ochranných opatření [2]*

Ochranná opatření	$P_A$
Žádné	1
Elektrická izolace exponovaného svodu	$10^{-2}$
Účinné potenciální propojení v půdě	$10^{-2}$
Varovné nápisy	$10^{-1}$

Odhad rozsahu ztráty  $L_A$  ve stavbě:

$$L_A = r_a \cdot L_t \quad (2.4)$$

kde

$r_a$  je činitel snižující ztrátu lidského života v závislosti na typu půdy

$L_t$  poměrný počet obětí na nebezpečném místě vně budovy

Tabulka 2.3: *Hodnoty  $L_t$  dle typu stavby [2]*

Typ stavby	$L_t$
Všechny typy – osoby uvnitř budovy	$10^{-4}$
Všechny typy – osoby vně budovy	$10^{-2}$

Tabulka 2.4: *Hodnoty  $r_a$  a  $r_u$  dle typu stavby [2]*

Typ stavby	$r_a$ a $r_u$
Zemědělská, betonová	$10^{-2}$
Mramorová, keramická	$10^{-3}$
Štěrk, mozaika, koberec	$10^{-4}$
Asfalt, linoleum, dřevo	$10^{-5}$

Stanovení součásti související s úrazem živých bytostí  $R_A$  způsobené úderem blesku do stavby:

$$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A \quad (2.5)$$

Pravděpodobnost, že úder do stavby způsobí hmotnou škodu  $P_B$ :

Hodnoty pravděpodobnosti, že úder do stavby způsobí hmotnou škodu, se odvíjí od hladiny LPL.

Tabulka 2.5: *Hodnoty  $P_B$  v závislosti na ochranných opatřeních ke zmenšení hmotných škod [2]*

Charakteristika stavby	Třída LPS	$P_B$
Stavba nechráněná LPS	-	1
Stavba chráněná LPS	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02

Odhad rozsahu ztráty  $L_B$  ve stavbě:

$$L_B = L_V = r_p \cdot h_z \cdot L_f \cdot r_f \quad (2.6)$$

kde

$r_p$  je činitel snižující ztrátu způsobenou hmotnou škodou v závislosti na provedených opatřeních ke zmenšení následku požáru

$r_f$  je činitel snižující ztrátu způsobenou hmotnou škodou v závislosti na riziku požáru stavby

$h_z$  je činitel, který zvyšuje ztrátu způsobenou hmotnou škodou, když vzniká zvláštní riziko

$L_f$  poměrný počet obětí na nebezpečném místě uvnitř budovy

Tabulka 2.6: Hodnoty  $r_f$  dle rizika vzniku požáru [2]

Riziko požáru	$r_f$
Výbuch	1
Vysoké	10-1
Obvyklé	10-2
Malé	10-3
Žádné	0

Tabulka 2.7: Hodnoty  $r_p$  dle protipožárních opatření [2]

Opatření	$r_p$
Žádná opatření	1
Jedno z následujících: hasicí přístroje, pevná ručně ovládaná hasicí instalace, ruční poplachové instalace, hydranty, ohnivzdorné úseky, chráněné únikové cesty	0,5
Jedno z následujících: pevná automaticky ovládaná hasicí instalace, automatická poplachová instalace	0,2

Tabulka 2.8: Hodnoty  $h_z$  dle druhu zvláštního rizika [2]

Druh zvláštního rizika	$h_z$
Žádné	1
Nízká úroveň paniky	2
Průměrná úroveň paniky	5
Obtížná evakuace	5
Vysoká úroveň paniky	10
Riziko pro okolí a prostředí	20
Znečištění okolí a prostředí	50

$L_f$  určíme z příslušné tabulky z normy ČSN EN 62305-2 ed. 2.

Tabulka 2.9: Hodnoty  $L_f$  dle typu stavby [2]

Typ stavby	$L_f$
Nemocnice, hotely, občanské budovy	$10^{-1}$
Průmyslové, obchodní, školy	$5 \cdot 10^{-2}$
Veřejná kultura, kostely, muzea	$2 \cdot 10^{-2}$
Ostatní	$10^{-2}$

Určení součásti rizika související s hmotnou škodou způsobenou úderem blesku do stavby  $R_B$ :

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B \quad (2.7)$$

Počet nebezpečných událostí  $N_{Da}$  pro sousední stavbu:



$$N_{Da} = N_g \cdot A_{\frac{d}{a}} \cdot C_{\frac{d}{a}} \cdot C_t \cdot 10^{-6} \quad (2.8)$$

kde

$N_g$  je hustota úderů blesků do země

$A_{d/a}$  je sběrná oblast osamocené sousední stavby

$C_{d/a}$  je činitel polohy sousední stavby

$C_t$  je korekční činitel přítomnosti transformátoru

Tabulka 2.10: *Hodnoty  $C_t$  dle typu transformátoru [2]*

Transformátor	$C_t$
Sít s transformátorem s dvojitým vinutím	0,2
Pouze síť	1

Odhad průměrného ročního počtu nebezpečných událostí způsobených úderem do inženýrské sítě  $N_L$ :

$$N_L = N_g \cdot A_I \cdot C_d \cdot C_t \cdot 10^{-6} \quad (2.9)$$

kde

$N_g$  je hustota úderů blesků do země

$A_I$  je sběrná oblast úderů zasahujících inženýrskou síť

$C_d$  je činitel polohy inženýrské sítě

$C_t$  je korekční činitel přítomnosti transformátoru

Tabulka 2.11: *Vzorce pro výpočty  $A_I$  a  $A_i$  [2]*

	Venkovní	Kabelová
$A_I$	$(L_c - 3 \cdot (H_a + H_b)) \cdot 6 \cdot H_c$	$(L_c - 3 \cdot (H_a + H_b)) \cdot \sqrt{\rho}$
$A_i$	$1000 \cdot L_c$	$25 \cdot L_c \cdot \sqrt{\rho}$

kde

$\rho$  je rezistivita půdy, ve které je vedení uloženo. Jestliže ji neznáme, počítáme s doporučenou hodnotou  $\rho=500 \Omega\text{m}$ .

$L_c$  je délka sekce sítě od stavby k prvnímu uzlu. Pokud ji neznáme, počítáme s doporučenou hodnotou 1000 m.

$H_a$  je výška stavby připojené na “a” konec sítě

$H_b$  je výška stavby připojené na “b” konec sítě

Pravděpodobnost, že úder do inženýrské sítě způsobí úraz živým bytostem  $P_U$ :

Závisí na charakteristikách stínění této sítě, impulzním napětí vnitřních systémů připojených k této síti, typických ochranných opatřeních a na SPD umístěných na vstupu inženýrské sítě.

Jestliže byla provedena koordinovaná ochrana SPD, je hodnota  $P_U$  rovna nižší z hodnot  $P_{SPD}$  a  $P_{LD}$ .

Pro nestíněné inženýrské sítě uvažujeme  $P_{LD} = 1$

Tabulka 2.12: *Hodnoty  $P_{SPD}$  jako funkce LPL, pro kterou jsou SPD navržena [2]*

LPL	$P_{SPD}$
Žádná koordinovaná ochrana SPD	1
III-IV	0,03
II	0,02
I	0,01

Odhad rozsahu ztráty  $L_U$  ve stavbě:

$$L_U = r_U \cdot L_t \quad (2.10)$$

kde

$r_U$  je činitel snižující ztrátu lidského života v závislosti na typu podlahy

$L_t$  poměrný počet obětí na nebezpečném místě vně budovy

Stanovení součásti rizika související s úrazem živých bytostí způsobeného úderem blesku do vedení připojeného ke stavbě  $R_U$ :

$$R_U = (N_L + N_{Da}) \cdot P_U \cdot L_U \quad (2.11)$$

Pravděpodobnost, že úder do inženýrské sítě způsobí hmotnou škodu  $P_V$ :

Závisí na charakteristikách stínění této sítě, na impulzním výdržném napětí vnitřních systémů a na instalovaných SPD.

Jestliže byla provedena koordinovaná ochrana SPD, je hodnota  $P_V$  rovna nižší z hodnot  $P_{SPD}$  a  $P_{LD}$ .

Pro nestíněné inženýrské sítě uvažujeme  $P_{LD} = 1$

Odhad rozsahu ztráty  $L_V$  ve stavbě:

$$L_V = L_B \quad (2.12)$$

Určení součásti rizika související s hmotnou škodou způsobenou úderem blesku do vedení připojeného ke stavbě  $R_V$ :

$$R_V = (N_L + N_{Da}) \cdot P_V \cdot L_V \quad (2.13)$$

Určení celkového rizika ztráty na životech  $R_1$ :

$$R_1 = R_A + R_B + R_U + R_V \quad (2.14)$$

## 2.3 Číselná analýza rizika

Hustota úderů blesků do země  $N_g$ :

$$N_g \approx 0,1 T_d = 0,1 \cdot 30 = 3 \quad (2.15)$$

Určení sběrné plochy  $A_d$ :

$$A_d = L \cdot W + 6 \cdot H \cdot (L + W) + 9 \cdot \pi \cdot H^2 = 47 \cdot 14 + 6 \cdot 20 \cdot (47 + 14) + 9 \cdot \pi \cdot 20^2 = 19287,7 \quad (2.16)$$

Vzájemná poloha stavby  $C_d$ :

$$C_d = 0,25 \quad (2.17)$$

Počet nebezpečných událostí  $N_D$  pro stavbu:

$$N_D = N_g \cdot A_d \cdot C_d \cdot 10^{-6} = 3 \cdot 19287,7 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6} = 0,01447 \quad (2.18)$$

Pravděpodobnost, že úder do stavby způsobí úraz živých bytostí  $P_A$ :

$$P_A = 1 \quad (2.19)$$

Odhad rozsahu ztráty  $L_A$  ve stavbě:

$$L_A = r_a \cdot L_t = 10^{-4} \cdot 10^{-2} = 10^{-6} \quad (2.20)$$

Stanovení současti související s úrazem živých bytostí způsobené úderem blesku do stavby  $R_A$ :

$$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A = 0,01447 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 1,447 \cdot 10^{-8} \quad (2.21)$$

Pravděpodobnost, že úder do stavby způsobí hmotnou škodu  $P_B$ :

$$P_B = 0,1 \quad (2.22)$$

Odhad rozsahu ztráty  $L_B$  ve stavbě:

$$L_B = L_V = r_p \cdot h_z \cdot L_f \cdot r_f = 0,5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2} = 10^{-5} \quad (2.23)$$

Určení současti rizika související s hmotnou škodou způsobenou úderem blesku do stavby  $R_B$ :

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B = 0,01447 \cdot 0,1 \cdot 10^{-5} = 1,447 \cdot 10^{-8} \quad (2.24)$$

Počet nebezpečných událostí  $N_{Da}$  pro sousední stavbu:

- Sousední stavba má stejné rozměry, jako chráněný objekt.

$$N_{Da} = N_g \cdot A_{\frac{d}{a}} \cdot C_{\frac{d}{a}} \cdot C_t \cdot 10^{-6} = 3 \cdot 19287,7 \cdot 0,25 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,0144 \quad (2.25)$$

Odhad průměrného ročního počtu nebezpečných událostí způsobených úderem do inženýrské sítě  $N_L$ :

$$A_I = (L_c - 3 \cdot (H_a + H_b)) \cdot \sqrt{\rho} = (1000 - 3 \cdot (20 + 20)) \cdot \sqrt{500} = 19677,398 \quad (2.26)$$

$$N_L = N_g \cdot A_I \cdot C_d \cdot C_t \cdot 10^{-6} = 3 \cdot 19677,398 \cdot 0,25 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,014 \quad (2.27)$$

Pravděpodobnost, že úder do inženýrské sítě způsobí úraz živým bytostem  $P_U$ :

$$P_U = 1 \quad (2.28)$$

Odhad rozsahu ztráty  $L_U$  ve stavbě:

$$L_U = r_U \cdot L_t = 10^{-5} \cdot 10^{-4} = 10^{-9} \quad (2.29)$$

Stanovení současti rizika související s úrazem živých bytostí způsobeného úderem blesku do vedení připojeného ke stavbě  $R_U$ :

$$R_U = (N_L + N_{Da}) \cdot P_U \cdot L_U = (0,01476 + 0,01477) \cdot 1 \cdot 10^{-9} = 2,953 \cdot 10^{-11} \quad (2.30)$$

Pravděpodobnost, že úder do inženýrské sítě způsobí hmotnou škodu  $P_V$ :

$$P_V = 1 \quad (2.31)$$

Odhad rozsahu ztráty  $L_V$  ve stavbě:

$$L_V = L_B = 10^{-5} \quad (2.32)$$

Určení součásti rizika související s hmotnou škodou způsobenou úderem blesku do vedení připojeného ke stavbě  $R_V$ :

$$R_V = (N_L + N_{Da}) \cdot P_V \cdot L_V = (0,01476 + 0,01477) \cdot 1 \cdot 10^{-5} = 2,953 \quad (2.33)$$

Určení celkového rizika ztráty na životech  $R_1$ :

$$R_1 = R_A + R_B + R_U + R_V = 1,447 \cdot 10^{-8} + 1,447 \cdot 10^{-8} + 2,953 \cdot 10^{-11} + 2,953 \cdot 10^{-7} = 3,24 \cdot 10^{-7} \quad (2.34)$$

Porovnání  $R_1$  s přípustným rizikem ztráty na životech  $R_T$ :

$$3,24 \cdot 10^{-7} < 10^{-5} \quad (2.35)$$

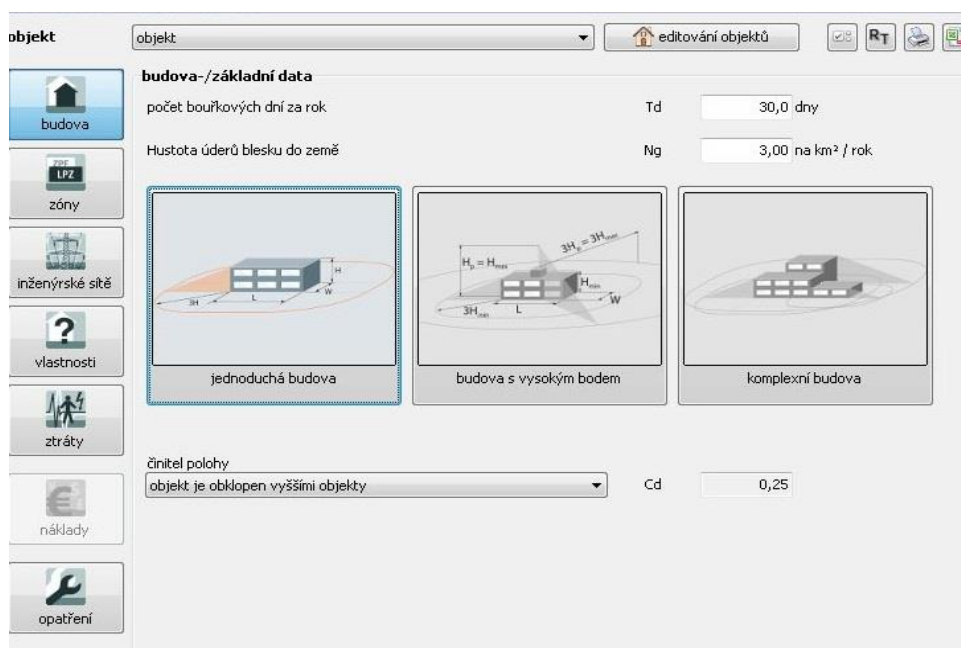
$$R_1 < R_T \quad (2.36)$$

Hodnota přípustného rizika  $R_T$  je větší, než výsledná hodnota celkového rizika ztráty na lidských životech  $R_1$ . Z toho vyvodím, že stavba spadá do hladiny LPL III.

## 2.4 Analýza rizika s pomocí programu DEHNSupport

DEHNSupport je program s kompletní sadou nástrojů, které jsou potřeba na návrh ochrany před bleskem. Je v něm možnost udělat analýzu rizika, výpočet délky jímáčů, výpočet bezpečné vzdálenosti a návrh jímací soustavy a svodů. Program slouží jako pomůcka pro projektanty, elektroinstalatéry a revizory.

Nejprve je třeba zvolit budovu a určit její parametry, tedy výšku, šířku, délku, průměrný počet bouřkových dnů za rok a prostředí budovy.



Obrázek 2.2: Volba budovy

Po volbě budovy přichází zadání parametrů inženýrských sítí. Zde zadám parametry jak silnoproudé sítě, tak telekomunikační sítě. Zadávají se jak parametry samotných sítí, tak i rozměry sousedící budovy a vlastnosti vnitřních systémů.

parametr	hodnota
typ vedení	vedení elektrické energie
délka vedení	LL 1 000,00 m
činitel instalace	CI 0,5
okolí	Ce 0,10
transformátor	Ct 0,20
stínění vedení	CLD 1
připojení vedení	CLI 1
stíněné vnitřní systémy	Xsys 0

Obrázek 2.3: Parametry silnoproudé sítě

parametr	hodnota
typ vedení	telekomunikační vedení
délka vedení	LL 1 000,00 m
činitel instalace	CI 0,5
okolí	Ce 0,10
transformátor	Ct 1,00
stínění vedení	CLD 1
připojení vedení	CLI 1
stíněné vnitřní systémy	Xsys 0

Obrázek 2.4: Parametry telekomunikační sítě

Po zadání parametrů inženýrských sítí je třeba zadat parametry samotného chráněného objektu. To znamená vlastnosti vnější půdy, vlastnosti materiálu povrchu a podlahy budovy, ochrana před úrazem elektrickým proudem, protipožární opatření a stínění.

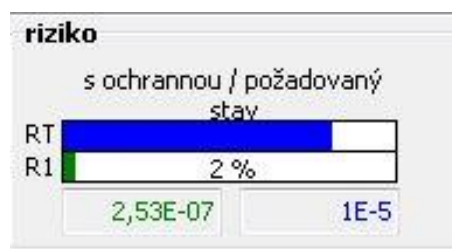


Obrázek 2.5: *Vlastnosti objektu*

V poslední řadě je potřeba určit ztráty L1 na lidských životech. L2, L3 a L4 se pro obytný objekt neurčují. Bere se zde v potaz činitel pro vnější a vnitřní dotykové a krokové napětí, činitel požáru, zvláštní nebezpečí a činitel škod přepětím. Pro zvláštní nebezpečí platí nízká úroveň paniky, neboť část bytů je neobydlená a celkový počet osob v budově nepřekračuje 100.

Obrázek 2.6: *Parametry ztrát*

Jakmile jsou zadány všechny parametry, program analyzuje výsledné riziko  $R_1$  ztrát na lidských životech a porovná jej s přístupným rizikem  $R_T$  dle normy ČSN EN 62305-2 ed. 2.



Obrázek 2.7: Porovnání výsledného rizika  $R_1$  s přístupným rizikem  $R_T$

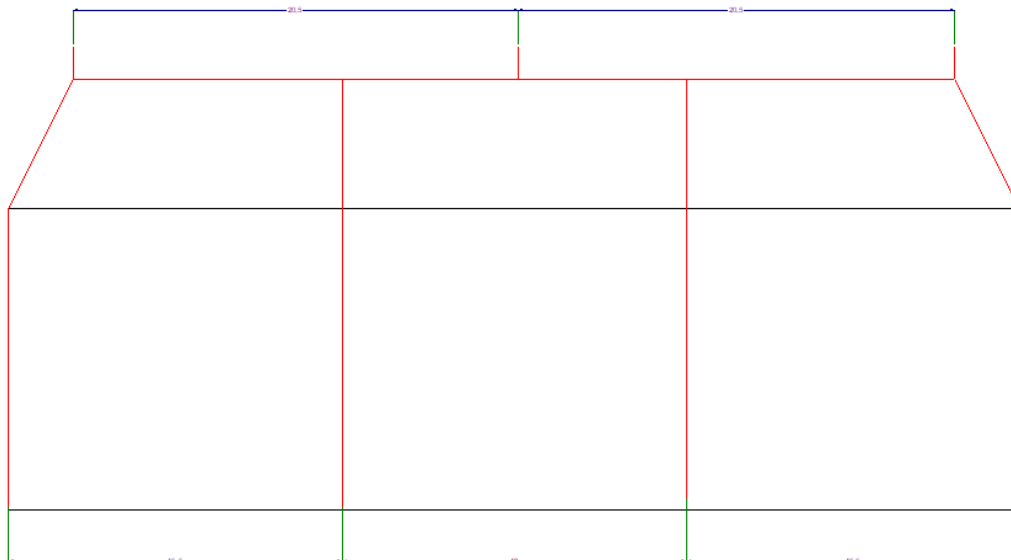
Výsledné riziko v programu DEHNSupport vyšlo  $R_1 = 2,53 \cdot 10^{-7}$ , což je o trochu menší než riziko ručně vypočtené, které vyšlo  $R_1 = 3,24 \cdot 10^{-7}$ . Tento rozdíl může být způsoben počítáním se zaokrouhlenými hodnotami. Opět je výsledné riziko menší, než přístupné riziko  $R_T$ , takže zvolená hladina LPL III je správná.

### 3 Návrh vnější ochrany

#### 3.1 Jímací soustava a svody

Jelikož má mnou zvolená budova sedlovou střechu, zvolím hřebenovou jímací soustavu. Budova je vysoká 20 metrů, což je mnohem nižší než poloměr valící se koule 45 m, údery blesku do boku budovy jsou tedy nepravděpodobné a nebudu je uvažovat. Počet potřebných svodů zjistím z rozměrů budovy a vzdálenosti mezi jednotlivými svody dle tabulky z [3].

Aby bylo možno svody rovnoměrně geometricky rozložit a zároveň umístit svod na každý roh budovy, bude zapotřebí 8 svodů. 4 svody budou umístěny v rozích budovy, k tomu 2 svody na každé dlouhé straně chráněného objektu. Svody na boku jsou od sebe vzdáleny 14 m, svody z přední a zadní strany budovy mezi sebou mají vzdálenost 15,5 m mezi okrajovým a dalším svodem, a 16 m mezi dvěma svody mezi okrajovými svody.



Obrázek 3.1: Rozmístění svodů a jímací soustavy

Střecha je vyrobena z nehořlavého materiálu, vodiče jímací soustavy mohou být tedy umístěny přímo na střeše. Svody budou vedeny po povrchu vnějších stěn.

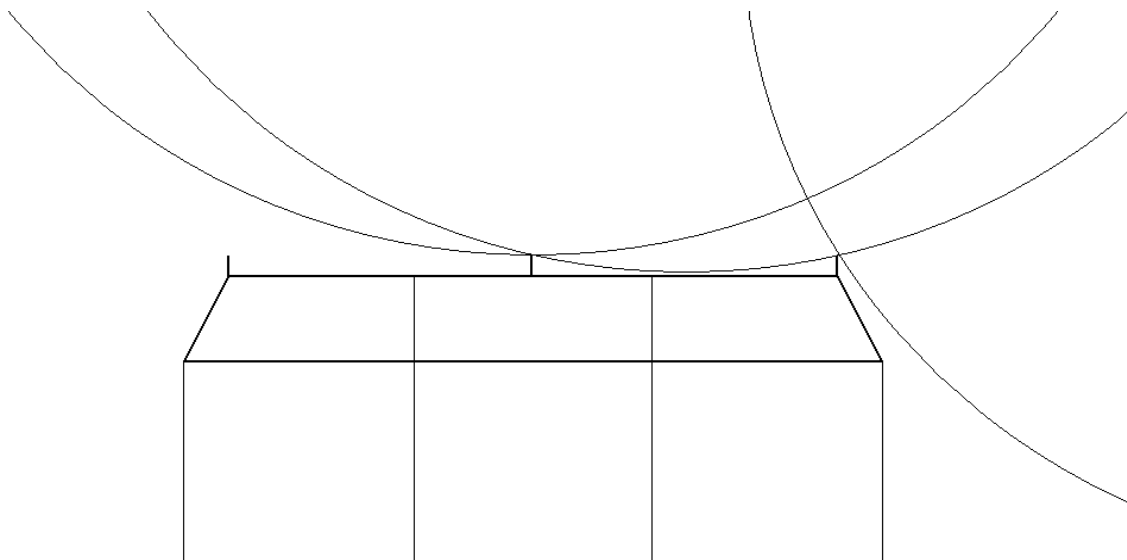
Správnost umístění ověřím tak, že obvod budovy v metrech podělím počtem svodů. Výsledek by měl být blízký hodnotě obvyklé vzdálenosti mezi svody s tolerancí  $\pm 20\%$ .

$$d = \frac{\text{Obvod}}{\text{Počet svodů}} = \frac{122}{8} = 15,25 \text{ m} \quad (3.1)$$

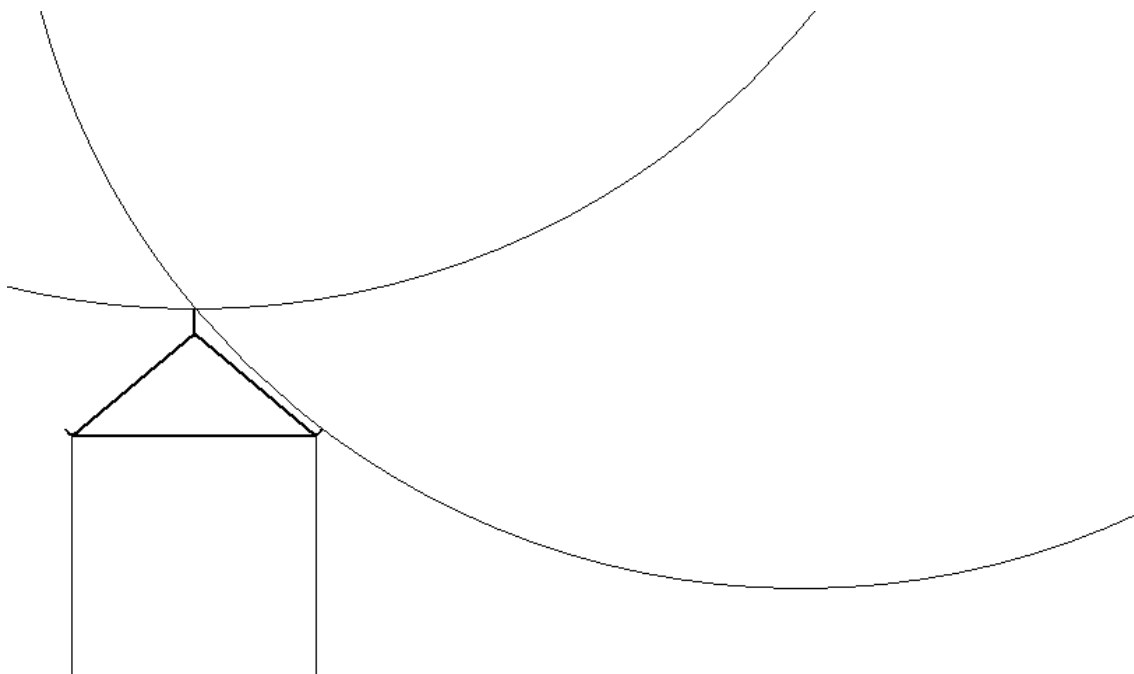
Na hřebenu střechy budou umístěny celkem 3 svislé jímací tyče, jedna na každém kraji střechy a jedna uprostřed. Tyče budou dlouhé 1,5 m, připevněny ke střeše pomocí držáku na jímací tyče pro hřebenové střechy. Na konci střešních svodů budou připevněny pomocné jímače o délce 0,5 m. Celá soustava bude vyrobena z FeZn drátu o průřezu 8 mm.

### 3.2 Návrh s využitím metody valící se koule

Jak je již zmíněno výše, metoda valící se koule je nejuniverzálnější metoda návrhu. Je ovšem také přesnější než metoda ochranného úhlu, ke kontrole tedy využijí metodu valící se koule. Poloměr valící se koule se odvíjí od použité třídy LPS na chráněný objekt. Pro mnou vybranou budovu je poměr valící se koule 45 m.



Obrázek 3.2: *Kontrola jímací soustavy – pohled zepředu*

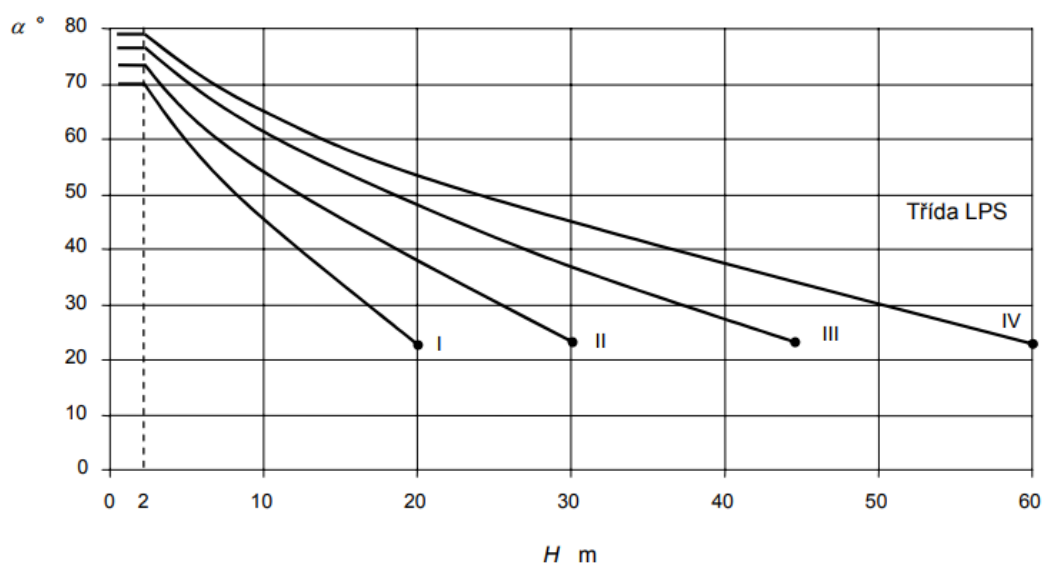


Obrázek 3.3: *Kontrola jímací soustavy – pohled z boku*

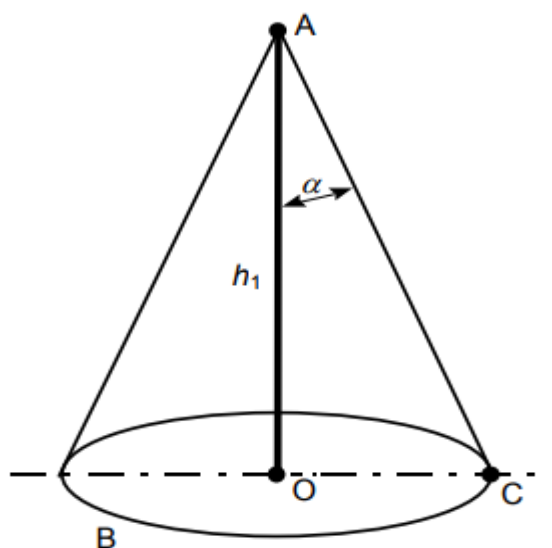
Povrch valící se koule se nemůže dotknout nechráněné části stavby, musí být vždy v kontaktu s jímací soustavou anebo se zemí. Jak je patrné z Obrázku 2.12 a Obrázku 2.13, valící se koule může být v kontaktu pouze s jímací soustavou, navržená jímací soustava tedy vyhovuje.

### 3.3 Návrh s využitím metody ochranného úhlu

Tato metoda je vhodná hlavně pro budovy s jednoduchým tvarem nebo jednoduché části budov. Používá se hlavně u tyčových a oddálených hromosvodů, ale lze ji využít i u hřebenové soustavy.



Obrázek 3.4: Ochranný úhel v závislosti na třídě LPS a výšce jímáče [3]

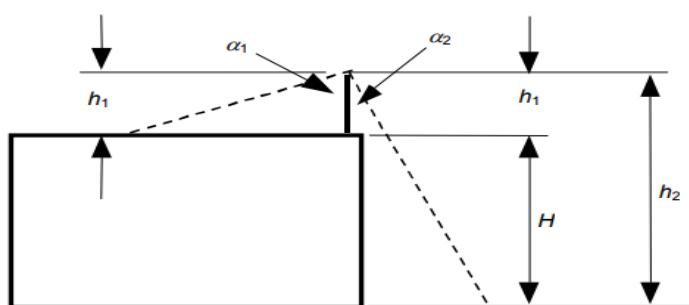


Obrázek 3.5: Poloměr ochranného prostoru [3]

Legenda:

- A je vrchol jímací tyče
- $\alpha$  je ochranný úhel
- $h_1$  je výška jímací tyče nad referenční rovinou chráněného prostoru
- OC je poloměr ochranného prostoru

Objekt je chráněn, nachází-li se v poloměru ochranného prostoru. Ten se počítá odděleně pro výšku jímací tyče nad zemí a pro výšku jímací tyče na střeše. Poloměr ochranného prostoru se vypočítá pomocí funkce tangens z hodnot ochranného úhlu  $\alpha$  a výšky jímací tyče.



Obrázek 3.6: Ochranný prostor svislé jímací tyče [3]

Výpočet:

Tabulka 3.1: *Hodnoty ochranných úhlů a výšek jímací tyče*

	$\alpha_1 (^{\circ})$	$\alpha_2 (^{\circ})$	$h_1$ (m)	$h_2$ (m)
Hodnoty	87	54	1,5	21,5

$$tg\alpha = \frac{OC}{h} \quad (3.2)$$

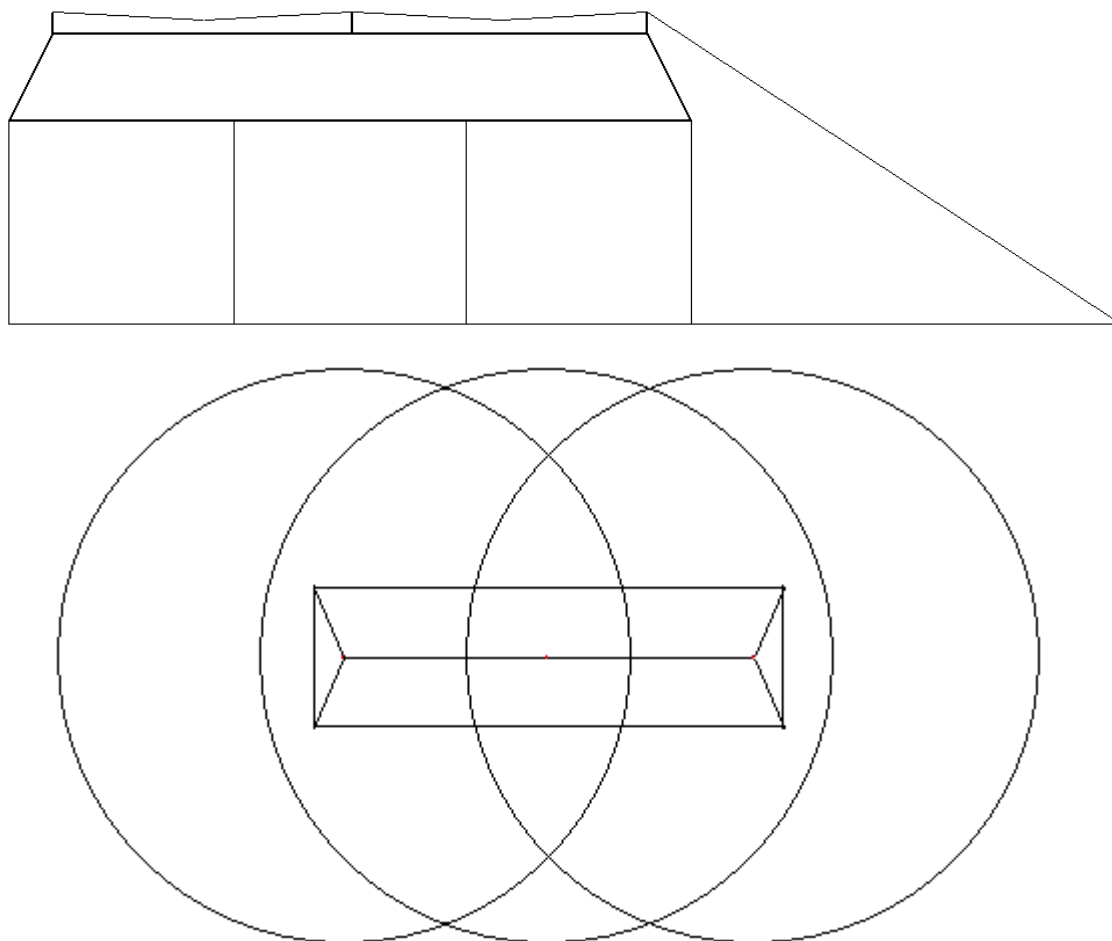
$$OC = (tg\alpha) \cdot h \quad (3.3)$$

$$OC_1 = (tg\alpha_1) \cdot h_1 \quad (3.4)$$

$$OC_1 = (tg87^{\circ}) \cdot 1,5 = 28,62 \text{ m}$$

$$OC_2 = (tg\alpha_2) \cdot h_2 \quad (3.5)$$

$$OC_2 = (tg54^{\circ}) \cdot 21,5 = 29,59 \text{ m}$$



Obrázek 3.7: *Ochranný prostor pro střechu*

Jak je vidět z Obrázku 3.7, objekt je zcela v ochranných prostorech svislých jímacích tyčí, je tedy dostatečně chráněn.

### 3.4 Uzemnění

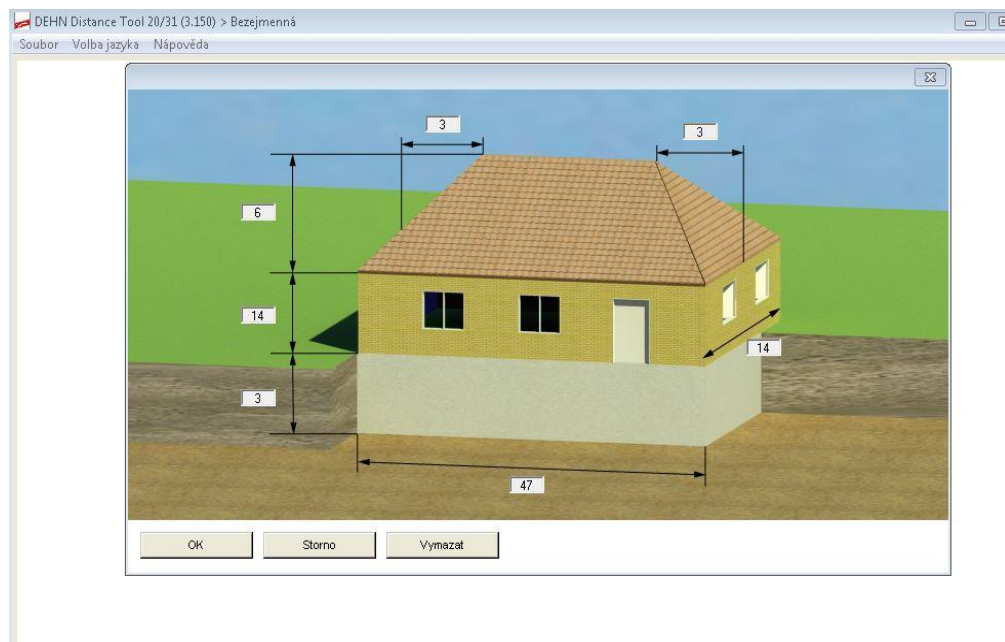
Uzemnění bude řešeno uspořádáním typu B, sestávající se z obvodového zemniče. Zemnič bude umístěn ve vzdálenosti 1 metru od vnější zdi budovy v hloubce 0,5 m. Pásek bude vyroben z FeZn 30x4 mm. Vývody s napojením na zkušební svorky bude řešeno drátem FeZn o průměru 10 mm.



## 4 Ověření návrhu v programu DEHNsupport

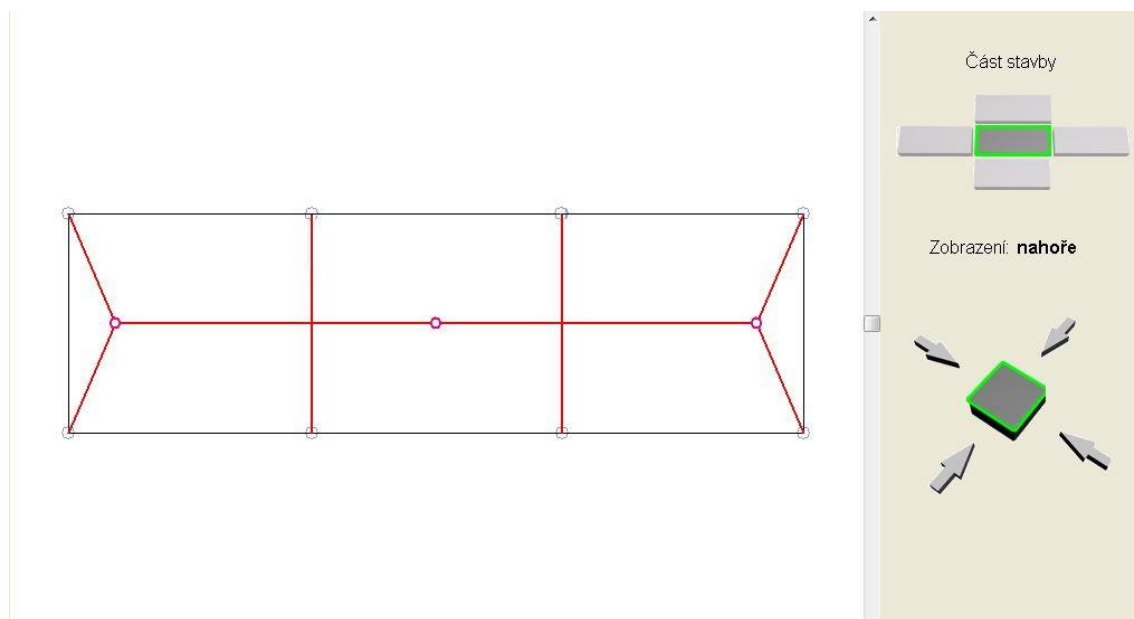
### 4.1 Návrh vnější ochrany

S pomocí programu DEHNsupport je nejen možné provést analýzu rizika, ale také návrh jímací soustavy a svodů vnější ochrany a výpočet dostatečných vzdáleností.



Obrázek 4.1: *Specifikace rozměrů chráněného objektu*

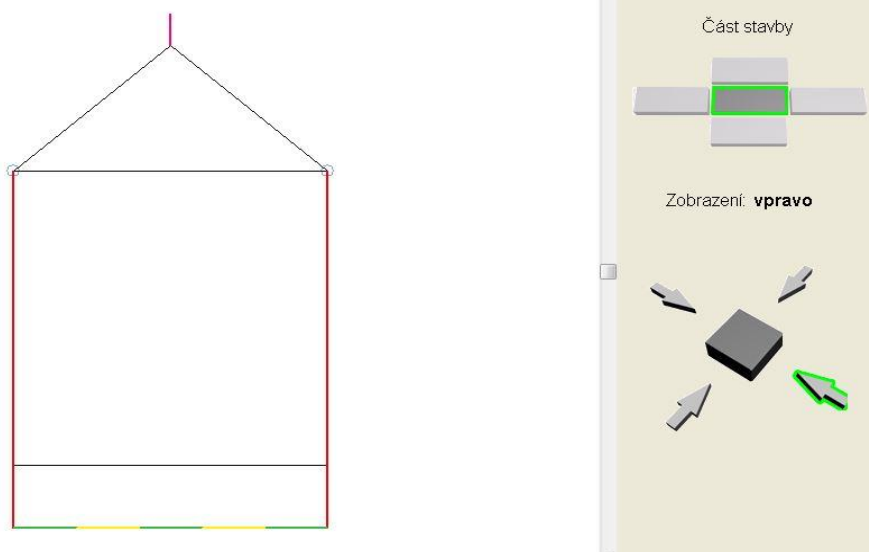
Po zadání rozměrů budovy a třídy LPS program automaticky vygeneruje jímací soustavu a soustavu svodů pro zvolenou budovu, kterou lze následně upravit dle představ projektanta.



Obrázek 4.2: *Návrh hromosvodu – pohled shora*



Obrázek 4.3: *Návrh hromosvodu – pohled zepředu*



Obrázek 4.4: Návrh hromosvodu – pohled z boku

## 4.2 Výpočet dostatečných vzdáleností

Nyní provedu výpočet dostatečné vzdálenosti  $S$ .  $S$  je dostatečná vzdálenost proti nebezpečnému jiskření. Počítá se jak pro umístění vnitřní elektroinstalace, tak pro umístění vodivých předmětů v blízkosti hromosvodu.

**Výpočet třídy ochrany před bleskem**

Proudové zatížení ☐ Úroveň potenciálu

kA  m

$k_m$ -činitel

1 vzduch  
0.7 distanční držák D+S  
0.5 beton, cihla...

☐ Vypočtena max. dostatečná vzdálenost

Krok  100 %

Doba výpočtu 1.2 s

☐ jen bod úderu  
☒ všechny body

**Výpočet třídy ochrany před bleskem**

Proudové zatížení ☐ Úroveň potenciálu

kA  m

$k_m$ -činitel

1 vzduch  
0.7 distanční držák D+S  
0.5 beton, cihla...

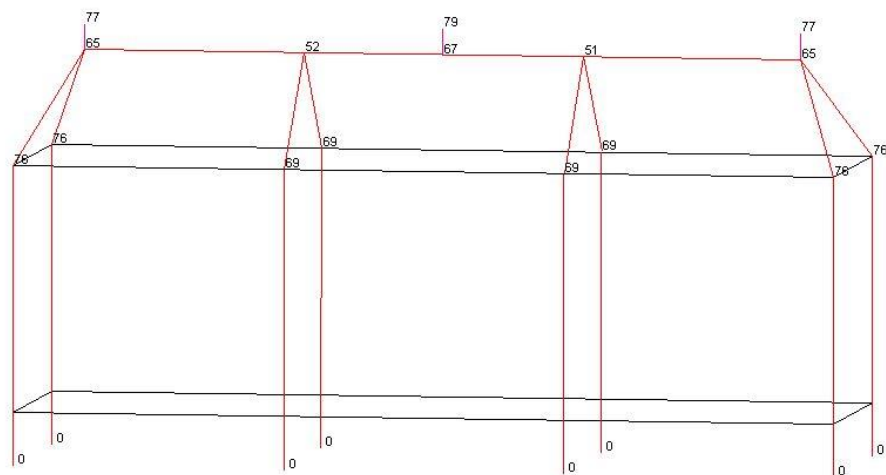
☐ Vypočtena max. dostatečná vzdálenost

Krok  100 %

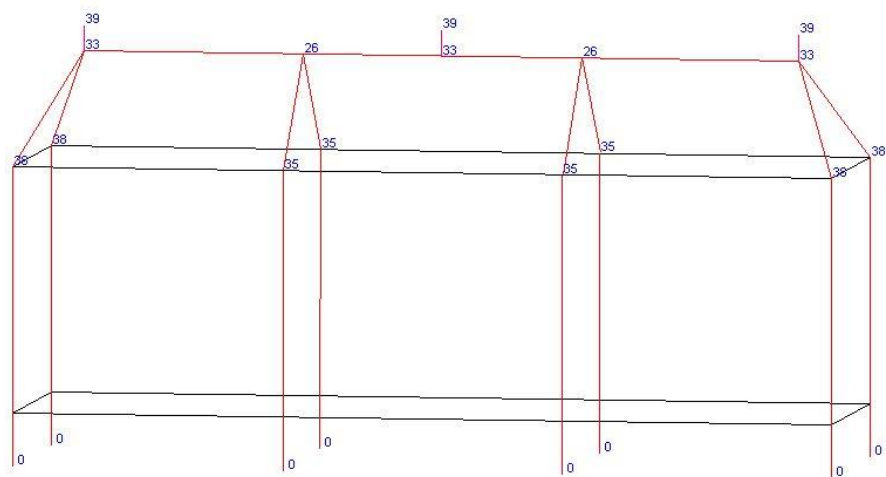
Doba výpočtu 0.5 s

☐ jen bod úderu  
☒ všechny body

Obrázek 4.5: Vlevo parametry pro umístění vnitřní elektroinstalace, vpravo parametry pro umístění vodivých částí vně budovy



Obrázek 4.6: *Dostatečné vzdálenosti pro vnitřní elektroinstalaci (cm)*



Obrázek 4.7: *Dostatečné vzdálenosti pro vodivé objekty vně budovy (cm)*

V dosahu těchto vypočtených vzdáleností od svodů a jímací soustavy se nesmí vést elektroinstalace uvnitř budovy (Obrázek 4.6) a vodivé části, umístěné vně budovy (Obrázek 4.7).

## **5 Projektová dokumentace**

Na základě návrhu vnější ochrany proti úderu blesku dle metody valící se koule a ochranného úhlu a následnému návrhu v programu DEHNsupport jsem vypracovala projektovou dokumentaci návrhu vnější ochrany, která se skládá z výkresu rozmístění hromosvodu na střeše budovy, výkresu zemniče a technické zprávy. Všechny části projektové dokumentace jsou přiloženy k této práci jako přílohy.

## Závěr

Nejprve ze všeho jsem se před začátkem vypracování této práce seznámila se souborem norem ČSN EN 62305 ed. 2. Detailněji jsem se seznámila hlavně s částmi 1, 2 a 3, neboť část 4 se zabývá návrhem vnitřní ochrany proti blesku, kterou se v této práci nezabývám.

Po nastudování norem jsem využila získané poznatky k analýze rizika a poté návrhu vnější ochrany před bleskem pro zvolený obyčejný činžovní dům. Zvolený objekt není reálný, byl vymyšlený pro potřeby této bakalářské práce.

Nejprve jsem tedy provedla analýzu rizika. Jelikož jde o obytný dům, zařadila jsem jej do LPL III a řešení rizika toto zařazení potvrdilo, neboť výsledné riziko bylo menší nežli přípustné riziko. Výpočet jsem následně ověřila v programu DEHNSupport, kde vyšla podobná hodnota rizika. Rozdíl mezi ručně vypočteným a programově vypočteným rizikem je malý a s největší pravděpodobností způsoben počítáním se zaokrouhlenými hodnotami.

Po vypočtení rizika a zařazením objektu do LPL III jsem v následující kapitole provedla návrh vnější ochrany před bleskem. Objekt je v LPL III, je tedy třeba instalovat LPS III. Návrh jsem provedla s pomocí metody valící se koule a metody ochranného úhlu.

V další kapitole jsem návrh pro ověření provedla v programu DEHNSupport, s jehož pomocí jsem následně vypočítala i dostatečné vzdálenosti.

Přínosem celé bakalářské práce je to, že ukazuje postup návrhu vnějšího systému ochrany před bleskem od začátku do konce, vše v souladu se souborem norem ČSN EN 62305 ed. 2. Také ukazuje práci v programu DEHNSupport, který výrazně ulehčuje analýzu rizika a návrh vnější ochrany před bleskem.

Návrh ochrany před bleskem je velice zajímavé a rozsáhlé téma. Avšak dnes používaná ochrana stále není ta nejúčinnější, co by mohla být. Zvláště zajímavé jsou aktivní hromosvody, které jsou velmi málo používané, a mohly by být téma dalšího stupně závěrečné práce.

## Použitá literatura

- [1] ČAS, ČSN EN 62305-1 ed. 2: Ochrana před bleskem – Část 1: Obecné principy, Praha, 2006
- [2] ČAS, ČSN EN 62305-2 ed. 2: Ochrana před bleskem – Část 2: Řízení rizika, Praha, 2006
- [3] ČAS, ČSN EN 62305-3 ed. 2: Ochrana před bleskem – Část 3: Hmotné škody na stavbách a nebezpečí života, Praha, 2006
- [4] ČAS, ČSN EN 62305-4 ed. 2: Ochrana před bleskem – Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách, Praha, 2006
- [5] DEHN: Nové evropské normy v oblasti ochrany před bleskem (4. část)  
URL: <<https://elektrika.cz/data/clanky/clanek.2006-01-24.6162030844>> [cit. 2021-04-10].
- [6] Jiří Kutáč, Zdeněk Rous, Zdeněk Hladký, *Hromosvody a zemniče*, Praha, 2008.
- [7] Nový soubor norem ČSN EN 62305  
URL:<<http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/novy-soubor-norem-csn-en-62305--12314>> [cit. 2021-02-15]



# Seznam příloh

## **A. Příloha 1:**

Příloha v IS EDISON: Výstupní protokol analýzy rizika

## **B. Příloha 2:**

Příloha v IS EDISON: Technická zpráva

## **C. Příloha 3:**

Příloha v IS EDISON: Projektová dokumentace hromosvodu

## **D. Příloha 4:**

Příloha v IS EDISON: Projektová dokumentace uzemnění